John Fowler

FALL OUT

le precipitazioni radioattive
e il futuro dell'umanità

Bompiani

Sopracoperta di
RENATE RAMGE

FALLOUT

LE PRECIPITAZIONI RADIOATTIVE E IL FUTURO DELL'UMANITÀ

A cura di

JOHN M. FOWLER

Presentazione italiana di RODOLFO MARGARIA

Prefazione di ADLAI E. STEVENSON

VALENTINO BOMPIANI

1961

Titolo originale:

FALLOUT

© *1960 Basic Books, Inc., New York*

Traduzione dall'inglese di
GIANNI DI BENEDETTO

© 1961 Casa Ed. Valentino Bompiani
Via Senato 16 - Milano

GLI AUTORI

JOHN M. FOWLER, professore incaricato di Fisica, Università di Washington.

LESTER MACHTA, dirigente della Sezione Speciale Progetti, Ufficio Meteorologico degli Stati Uniti.

ROBERT J. LIST, meteorologo, Ufficio Meteorologico degli Stati Uniti.

W.O. CASTER, professore incaricato di Chimica Fisiologica della Scuola Medica dell'Università del Minnesota.

WALTER R. GUILD, professore incaricato di Biofisica, Università di Yale.

JAMES F. CROW, professore di Genetica, Istituto di Medicina dell'Università di Wisconsin; Presidente della Associazione Americana di Genetica.

GOULD A. ANDREWS, direttore associato della Divisione Medica dell'Istituto di Studi Nucleari di Oak Ridge.

JACK SCHUBERT, chimico del Laboratorio Nazionale di Argonne.

ARTHUR H. ROSENFELD, professore incaricato di Fisica presso la Facoltà di Fisica e il Laboratorio sulle Radiazioni dell'Università di California.

RALPH E. LAPP, fisico e pubblicista, ex-direttore del Laboratorio Nazionale di Argonne, direttore del Comitato per le Ricerche e le Applicazioni dell'Energia Atomica e dirigente della Sezione di Fisica Nucleare dell'Ufficio Studi della Marina.

L'edizione italiana di questo libro è pubblicata sotto gli auspici del Comitato Italiano per il Disarmo Atomico

Chiunque non sia un tecnico specializzato che abbia una cultura specifica nel campo delle radiazioni, incontra difficoltà a comprendere i pericoli delle radiazioni ionizzanti; e questo è ovvio, perché le radiazioni ionizzanti non si vedono, e soltanto quello che si vede e che si può toccare con mano, quello che giunge alla nostra coscienza attraverso gli organi di senso, ci può dare un'idea concreta dei fatti. Non si crede a un pericolo se non lo si vede, e se per comprenderlo bisogna eseguire un lavoro intellettivo, bisogna fare i conti con la pigrizia mentale che è l'ostacolo maggiore alla realizzazione delle opere, il freno piú efficace al progresso.

Che non ci si rendesse conto del pericolo delle radiazioni ionizzanti all'inizio del secolo quando queste sono state introdotte su abbastanza larga scala nella tecnica medica coi raggi roentgen era naturale, perché queste radiazioni non causano un danno immediato visibile se non in dose molto elevata: si riteneva perciò che dosi moderate non provocassero alcun danno; ed è per questa tendenza ottimistica che i pionieri della radiologia, si può dire tutti i radiologi della prima metà di questo secolo, sono stati vittime, chi piú, chi meno, dei piú svariati infortuni pro-

fessionali, che andavano dalle lesioni torpide inguaribili della cute, alla necrosi dei tessuti, tali da richiedere amputazioni estese, all'insorgenza, in proporzione molto maggiore che nella popolazione comune, di malattie mortali quali il cancro e la leucemia. Oggi i radiologi, fattisi edotti, si proteggono da queste radiazioni e questi inconvenienti non si osservano piú.

Questo danno era comunque limitato a un ristretto numero di individui, i radiologi, e a un numero limitato di malati, ai quali venivano prescritte dosi elevate di radiazioni. Invece l'inquinamento dell'atmosfera e di tutta la superficie terrestre con materiale radioattivo, che emette radiazioni che hanno quella stessa azione biologica lesiva dei raggi X, è diventato un problema enormemente piú grave perché colpisce non solo tutti gli uomini, ma tutti gli esseri viventi che si trovano sulla superficie della terra. È questo un problema che si è posto soltanto negli ultimi decenni, e che è dovuto essenzialmente all'uso dell'energia nucleare a fini distruttivi (bomba A e bomba H). I detriti risultanti dalla radiazione nucleare, tuttora radioattivi, vengono dispersi nell'atmosfera e possono essere respirati da tutti gli esseri viventi: ed anche quando cadono sulla superficie terrestre (*fallout*) sono, in un secondo tempo, in buona parte riassorbiti dalle piante ed incorporati nei tessuti vegetali, che servono poi per l'alimentazione del bestiame e, direttamente od indirettamente, per l'alimentazione umana. L'uomo ne rimane quindi contagiato sia dall'aria che respira che dagli alimenti che introduce. Il danno che queste radiazioni possono fare è enorme, anche se la radioattività dell'ambiente non si eleva in maniera tale da condurre a lesioni immediate e conclamate.

Il danno maggiore è quello che si verifica a livello dei nuclei cellulari, e che è del tutto inavvertito al momento della radiazione. Esso si può manifestare come una degenerazione cancerosa delle cellule, che si rende evidente ed attiva soltanto dopo anni o decenni; quando la radiazione colpisce le cellule germinative, la lesione nucleare può consistere in una mutazione che si manifesta con un carattere nuovo che compare nei discendenti e che è, nella quasi totalità dei casi, dannoso, spesso incompatibile con la vita. Per di piú, questo danno viene mascherato nelle prime generazioni, perché il

difetto ereditato dal genitore colpito non appare nel figlio che allo stato latente: occorre che ambedue i genitori portino questo nuovo carattere deleterio, sia pure allo stato latente, perché il difetto si manifesti appieno sui figli: e questo, secondo la legge della probabilità degli accoppiamenti, non si verifica che dopo alcune generazioni.

Il danno è comunque molto grave, come risulterà al lettore della trattazione che persone di tutta competenza, e le piú qualificate, hanno voluto fare in questo libro, per illustrare a tutti quelli che non hanno una cultura tecnica specifica, e soprattutto ai sociologi, ai politici, a tutte le persone interessate alla propria salute, all'avvenire nostro e dei nostri figli, alla continuazione della specie umana su questa terra, il pericolo delle radiazioni ionizzanti.

Il continuare nell'inquinamento della superficie terrestre, come è stato fatto nei primi dieci anni dopo la realizzazione della prima bomba atomica, significa andare incontro ad un disastro per la specie umana. A questo ci dobbiamo opporre con tutte le forze, chiamando a raccolta per un'azione comune a largo raggio tutti quelli che, indipendentemente da ogni ideologia politica e religiosa, hanno un certo senso morale: poiché fa parte di quello che chiamiamo senso morale avere cura e rispetto non soltanto di noi, ma di tutta l'umanità, dei nostri discendenti, poiché essi sono noi stessi, sono fatti del nostro plasma germinativo, che continua a vivere, anche quando il nostro organismo, considerato a se stante, muore.

Di questi concetti e di queste preoccupazioni si sono fatti banditori gruppi di persone che riuniti in comitati nazionali per il disarmo atomico si sono costituiti nel 1959 in una *Federazione Europea*. Il movimento è iniziato in Inghilterra avendo a capo lord Bertrand Russell, il grande filosofo quasi novantenne; del comitato tedesco fa parte il fisico Max Born, di quello francese lo scrittore François Mauriac, in Italia hanno aderito personalità di primissimo piano della Scienza, della Letteratura, dell'Arte. Ed in tutti i Paesi civili ed a piú elevato livello culturale sono nate sezioni di questo movimento federalistico.

Il Comitato Italiano per il Disarmo Atomico è molto lieto di poter presentare al lettore questo libro nel quale il problema dell'inquinamento della superficie terrestre è

trattato, oltre che in una forma piacevole e brillante, con documentazioni e con ricchezza di dati, e con quella precisione scientifica che nulla ha perso per essere tradotta in un linguaggio comprensibile alle persone non tecniche.

Io mi auguro che questo libro abbia la massima diffusione possibile, perché tratta un capitolo della scienza che oggi interessa enormemente anche perché risponde ad un'esigenza che non è piú soltanto culturale ed educativa, ma anche applicativa. Nell'epoca in cui viviamo questa esigenza è particolarmente sentita dal punto di vista umano e sociale perché gli argomenti trattati in questo libro contribuiscono a farci comprendere il problema della vita, a farci sentire i pericoli ai quali possiamo andare incontro se non si interviene attivamente con tutte le nostre forze ad impedire che Capi di Governo od altri responsabili in cerca di facile popolarità, spinti dal desiderio di grandezza e di potenza, con proprie unilaterali decisioni, conducano l'umanità attuale sulla china del suicidio.

PROF. RODOLFO MARGARIA
Accademico dei Lincei
Presidente del Comitato Italiano
per il Disarmo Atomico

PREFAZIONE

L'argomento di questo libro non è tanto il fallout, *quanto il busillis nucleare in genere e le circostanze che fanno di questa epoca la piú malsicura nella storia dell'umanità. Mentre ci inoltriamo in un decennio che viene già euforicamente denominato " i dolenti anni sessanta ", possiamo notare che cominciano già ad affiorare alcuni segni inconfondibili di questa sotterranea inquietudine. Industria e commercio sono in piena attività, le navi da crociera sono affollate, i piú popolari argomenti di conversazione sono le automobili sportive, il mercato di Borsa e le " bustarelle". Mai si era visto l'impiego di tante persone volte unicamente alla ricerca del massimo comfort materiale. Ma questa vasta euforia appare sospetta come un tentativo nevrotico di sfuggire a realtà che ci turbano.*

In un linguaggio abbastanza comprensibile a chiunque, vengono qui esposte alcune delle realtà dell'era atomica; anche un profano comincia ad avere una certa familiarità con argomenti un tempo remoti e misteriosi, per lo meno non sente piú l'imbarazzo della propria ignoranza. Gli scienziati che hanno redatto questo libro ci danno un quadro chiaro e dettagliato dell'anatomia delle bombe nucleari e del loro funzionamento; ci chiarificano le particolarità delle radiazioni e i danni che il fallout *può disseminare nel nostro ambiente, in noi e nei nostri figli. Senza alcuna concessione alla fantasia, ma in modo vivo, essi ci descrivono gli effetti di una guerra atomica e a cosa potrà portare l'insabbiarsi dei negoziati per l'abolizione degli esperimenti atomici e il disarmo nucleare.*

È molto strano che questa pacata rassegna di fatti sia incoraggiante. Spesso la realtà perde molto del suo aspetto terrificante se è vista in faccia e la comprensione degli aspetti tecnici delle nostre imprudenze nucleari ci dà maggiori speranze di riuscire a trovare il modo di ovviarle. La sospensione degli esperimenti atomici che era apparsa azzardata e utopistica quando la sollecitavo durante la campagna del 1956, è diventata un fatto storico nel 1958. La pura logica e la considerazione realistica dei fatti hanno convinto gli Stati occidentali e sovietici a sospendere gli esperimenti di tutte le armi nucleari e a cercare un accordo formale per farne un fatto permanente. Come è qui detto nel rapporto di Arthur Rosenfeld, il raggiungimento di questo accordo è subordinato soltanto alla soluzione di alcuni ben

definiti problemi di ordine tecnico e questo non dovrebbe risultare troppo difficile. È piú facile trovare un accordo fra gli scienziati delle due parti che non tra i diplomatici e i politici.

Questo non significa che la minaccia di una guerra atomica sia diminuita, però si cominciano a studiare i mezzi pratici per arrivare a un risultato piú ottimistico. Senza troppe difficoltà possiamo por termine alla minaccia del fallout, *almeno per quanto concerne un ulteriore inquinamento atmosferico: un accordo che impegni le potenze atomiche ad abolire gli esperimenti nucleari sulla terra è divenuto non solo possibile, ma quasi inevitabile. Un ulteriore passo volto ad abolire qualsiasi esperimento, proibendo anche quelli sotterranei, è diventato solo una questione di mezzi tecnici. Dovrebbe essere possibile sviluppare un sistema di controllo sulla base degli studi fatti da nostri scienziati ed esperti per il Rapporto Berkner.*

Continuare a rimandare può essere pericoloso. Non possiamo permettere che i negoziati si trascinino ancora per molto. Fino a che la gara delle armi nucleari continua, un numero sempre crescente di nazioni vorrà acquistare prestigio e potenza fabbricandosi la propria bomba atomica e, poiché la lista delle nazioni che già la posseggono aumenta, diminuiranno sempre piú le probabilità di evitare una catastrofe nucleare. Il risultato dei negoziati tra Stati Uniti, Inghilterra e Russia segnerà forse l'inizio di un nuovo periodo nella storia.

ADLAI E. STEVENSON

John M. Fowler

IL PROBLEMA DEL *FALLOUT*

" Ogni uomo dovrebbe preoccuparsi di conoscere, prima di morire, l'origine, la meta e il motivo del proprio affanno. "

La morale del racconto di James Thurber sui lemmi e la loro precipitosa corsa verso il mare dove trovano la morte, sembra singolarmente appropriata per l'uomo dell'era atomica. I grandi progressi compiuti nella tecnologia delle armi, in combinazione con l'immutata miopia della politica delle varie nazioni, ci sta spingendo sempre piú in fretta verso il destino dei lemmi. Se vogliamo fermarci prima dell'annientamento nucleare, il sapere deve aprire gli occhi chiusi per il timore e illuminare gli occhi velati dalla indifferenza.

La distruzione di Hiroshima e di Nagasaki fece prevedere un mutamento della natura della guerra. Le ceneri radioattive che caddero sul *Lucky Dragon*

e sugli abitanti delle Marshall all'inizio del 1954 sottolinearono la portata di questo mutamento. Oggi le armi radiologiche possono trasformare in obiettivi bellici intere nazioni e in campi di battaglia interi continenti. Purtroppo questo mutamento della scala delle operazioni belliche non ha avuto alcun riscontro nello sviluppo delle teorie di governo delle nazioni. Non si è ancora verificato nessun perfezionamento della politica internazionale che possa reggere il confronto ai progressi degli armamenti. Pare che le bombe atomiche e all'idrogeno non siano altro che cannoni piú grandi per coloro che se ne servono.

Ci dovremo preoccupare con sempre maggiore impegno di problemi che concernono in maniera essenziale le probabilità di sopravvivenza dell'umanità. Vediamo già come si configureranno: la politica di " deterrent " con la sua subordinazione alle armi nucleari, la costruzione di basi missilistiche " protette " (cioè a prova di bomba H) nel territorio metropolitano americano, la controversia sugli esperimenti nucleari — sono gli esempi piú immediati. Nonostante la loro importanza per il nostro futuro, le decisioni dei nostri governi su questi argomenti non sono condizionate e dirette dalla pubblica opinione. Apparentemente la natura difficile e sottile dei problemi nucleari ne allontana la maggior parte dei profani, e la deformazione dalle discussioni pubbliche ha confuso e scoraggiato quelli che tentavano di affrontare il problema.

Questo libro si propone di dare una visione piú chiara dei problemi nucleari. Abbiamo cercato di

presentare semplicemente e autorevolmente i fatti relativi alle armi nucleari e alle minacce che essi implicano per l'umanità. Come tema principale abbiamo scelto il pericolo dovuto al *fallout* ([1]) radioattivo. Ci sono tre motivi per insistere su questo aspetto particolare del pericolo nucleare. Anzitutto, la pubblica discussione sugli esperimenti militari si è fondata prevalentemente sul pericolo del *fallout,* e dalla incompletezza e contraddizione della presentazione degli argomenti relativi è derivata molta confusione. In secondo luogo, gli intensi studi scientifici degli ultimi tre o quattro anni hanno prodotto una massa di conoscenze delle quali il pubblico dovrebbe essere informato. Terzo, qualunque valutazione delle conseguenze biologiche di una guerra nucleare si deve largamente fondare sulle attuali ricerche sul *fallout* degli esperimenti nucleari.

La grandezza del pericolo dovuto al *fallout* è stata il soggetto principale delle discussioni politiche e scientifiche e noi esamineremo i principali punti della controversia negli ultimi capitoli di questo libro. Tuttavia è bene cominciare a chiarire quali sono gli argomenti della discussione e quali argomenti sono estranei.

L'esplosione di un'arma nucleare produce dei resi-

([1]) *Fallout* o « ricaduta radioattiva » o « residui » o « prodotti dell'esplosione ». Le sostanze radioattive — prodotte dalla bomba, e da eventuali reazioni degli isotopi radioattivi con l'aria, la terra e l'acqua — vengono sollevate dalla corrente ascendente di aria e poi trasportate dalle correnti dell'alta atmosfera, e possono infine ricadere a grande distanza costituendo il cosidetto *fallout* o ricaduta radioattiva. (Da: Enrico Persico, *Gli Atomi e la loro Energia,* ed. Zanichelli, pag. 382) [N. d. T.].

dui radioattivi che vengono trasportati dai venti in ogni parte del mondo. Tali residui alla fine ricadono sulla superficie terrestre con la pioggia ed entrano nei cicli vitali delle piante e degli animali. È cosa ormai certa che vi sia un costante aumento della radioattività del suolo: può essere dimostrato chiaramente come è avvenuto in numerosi esperimenti, tipico quello eseguito da alcuni studiosi del suolo all'Earlham College (Indiana). Nel 1950, nel quadro di una ricerca di largo raggio, fu accuratamente isolato un campione dello strato superficiale del terreno. Verso la metà del 1959 da quello stesso luogo fu prelevato un secondo campione. Fu misurata la radioattività dei due campioni e si rilevò che la radioattività del campione del 1959 era cento volte maggiore di quella del campione del 1950, mentre alla profondità di 5 cm. i due campioni dimostravano circa la stessa radioattività. I risultati raccolti presso il Laboratorio Scientifico di Los Alamos sono altrettanto drammatici. Un rilevatore di radiazioni, abbastanza grande per contenere una persona, è stato usato colà per un certo tempo per misurare la radiazione gamma del corpo umano. I dati ottenuti dai visitatori esaminati con tale apparato, dimostrano che negli anni successivi alla esplosione della prima bomba a idrogeno, nell'organismo umano si è avuto un graduale aumento del cesio 137, un elemento radioattivo formato dall'esplosione delle bombe. Ulteriori prove sono state raccolte negli scorsi anni presso il Laboratorio Geofisico Lamont di Palisades (New York) dove ossa umane, provenienti da diverse regioni del mondo, sono state analizzate per

rilevare le tracce di radioattività. Da quelle analisi è risultato indiscutibilmente che nelle nostre ossa è contenuto del materiale radioattivo e che la contaminazione è in aumento.

Nel latte, nel frumento, nel tè, nella lattuga, nel riso — in tutti gli alimenti esposti al sole e alla pioggia, si rileva una crescente concentrazione di sostanze radioattive.

Nella primavera del 1959 è stato anche conclusivamente dimostrato che anche l'aria è contaminata con materiale radioattivo. Esaminando le tute di cinque meccanici che avevano lavorato su un reattore di linea della Panamerican si scoprí che esse erano radioattive. Una successiva inchiesta dimostrò che l'aereo aveva raccolto durante un volo stratosferico una quantità facilmente rilevabile di materiale radioattivo sulle sue superfici ingrassate.

Questi fatti sono indiscutibili. La prova di un incremento costante della contaminazione radioattiva è stata raggiunta con semplici analisi e misurazioni. Circa la fonte della contaminazione non ci possono essere dubbi. I materiali che hanno provocato tale contaminazione nel nostro ambiente vitale e nei nostri corpi possono essere chiaramente identificati come prodotti della fissione nucleare. Nei nostri corpi i materiali radioattivi principali sono il cesio 137 e lo stronzio 90. La radioattività del suolo e dell'atmosfera deriva dalle varietà radioattive del bario, del lantanio, del neodimio, del rutenio [1] e

---

[1] Sono gli elementi del sistema periodico noti come « terre rare » [N. d. T.].

da molti altri isotopi insoliti formati dalla fissione dell'atomo di uranio.

Non ci può neppure essere alcuna controversia sulle conseguenze derivanti dalla esposizione alla radiazione. Sappiamo che la radiazione nucleare è letale in grandi dosi, e che in dosi minori può produrre la leucemia e il cancro. Sappiamo anche che la radiazione danneggia i geni, portatori dei caratteri ereditari.

Le divergenze tra gli scienziati cominciano quando si tenta di identificare gli effetti della esposizione a dosi minime di radiazioni di *fallout.* Dovendoci basare su pochi dati precisi sperimentali, le valutazioni sono fortemente influenzate dalle conclusioni del ricercatore circa i fattori incerti.

Per dimostrare esaurientemente la divergenza della valutazione del pericolo dovuto all'ammassarsi di prodotti della fissione nel nostro ambiente, basta citare alcune affermazioni di personalità scientifiche autorevoli, appartenenti alle due correnti.

Tra coloro che hanno insistito sul pericolo del *fallout* si distingue l'eminente chimico americano Linus Pauling, premio Nobel 1952. Nel suo libro *No More War,* egli sostiene: " Una singola grande superbomba, del tipo di quella che fu fatta esplodere il 1 marzo 1954 negli Stati Uniti, può provocare un'incidenza di infermità tali da produrre 10.000 casi mortali per leucemia e cancro osseo, e probabilmente altri 90.000 casi mortali per altre malattie, per un totale di circa 100.000 decessi. "

In netto contrasto Edward Teller, uno dei realizzatori della bomba all'idrogeno, dichiara nel suo

libro *Our Nuclear Future* (Il nostro futuro nucleare): " Il lettore vedrà che il *fallout* su scala mondiale è pericoloso come l'aumento di peso di un'oncia o il fumo di una sigaretta ogni due mesi. "

La differenza tra queste due affermazioni non è cosí grande come potrebbe apparire a prima vista. Su una popolazione mondiale di due miliardi e mezzo di abitanti, la cifra di 100.000 decessi suggerita da Pauling è una frazione quasi insignificante. Se espressa in forma percentuale, la mortalità dovuta al *fallout* appare realmente una delle minori miserie dell'umanità. Ma il paragone di Teller trascura la differenza tra la volontaria esposizione al pericolo del fumo e l'involontaria e inevitabile esposizione alla radiazione del *fallout*. Questo particolare confronto è infirmato anche da conclusioni non corrette sull'entità dell'esposizione al *fallout*.

Com'è che due scienziati possono giungere a conclusioni cosí divergenti partendo dagli stessi dati? Le misurazioni sperimentali degli effetti della esposizione continuata a piccole dosi di radiazione sono scarse, e quegli esperimenti che sono stati descritti sono generalmente abbastanza incerti per permettere grandi divergenze di interpretazione. Le due suddette persone sono state influenzate nella loro interpretazione dai loro punti di vista nettamente differenti sugli esperimenti con la bomba. Teller, profondamente convinto che il primato negli armamenti nucleari sia il presupposto essenziale per la sicurezza nazionale, si attenne alle valutazioni piú ottimistiche sugli effetti del *fallout* e insistette sul trascurabile valore statistico dell'eventuale pericolo.

Pauling, convinto che la continuazione degli esperimenti ci spingerà piú rapidamente sulla china dell'annientamento totale, considerò come sacrificio ingiustificabile ogni vita sacrificata per quegli esperimenti; si attenne al punto di vista della cautela, ammonendo ad esagerare nel pessimismo, e insistette sul numero delle vittime anziché sull'aspetto percentuale di esso.

Se tali differenze di opinioni tra gli scienziati hanno confuso la pubblica opinione, la Atomic Energy Commission (AEC), alla quale è devoluta la responsabilità per questi problemi, ha fatto ben poco per dissipare le incertezze. Le sue comunicazioni pubbliche sembrano aver avuto lo scopo di rassicurare anziché di informare.

Tuttavia negli ultimi anni l'atteggiamento dell'AEC ha subito una trasformazione. Ne sono prova le dichiarazioni di Willard Libby che per parecchi anni è stato il principale portavoce della Commissione. Dopo l'inserimento nella campagna presidenziale del 1956 del problema degli esperimenti nucleari, il dr. Libby scriveva su *Science* (20 aprile 1956): " Sulla base delle informazioni cosí ottenute, è possibile affermare inequivocabilmente che gli esperimenti di armi nucleari effettuati attualmente non costituiscono un rischio per la salute pubblica per scala mondiale i rischi per la salute pubblica deriquanto riguarda lo stronzio. " E continuava: "...su vanti dall'attuale frequenza degli esperimenti sono insignificanti. "

Ma tre anni dopo, parlando all'Università di Washington, il dr. Libby ammetteva: " Tuttavia c'è

una zona di incertezza cosí estesa che si può tollerare soltanto la considerazione piú cauta dei limiti consentibili di dosi di isotopi radioattivi da *fallout* nell'organismo, e questa cauta considerazione suggerisce che si deve trattare con attenzione e prudenza la questione di una addizionale contaminazione radioattiva. "

Nei tre anni intercorsi la AEC aveva cambiato il suo atteggiamento ufficiale riguardo il problema del *fallout*. Forse ciò fu dovuto alle critiche rivolte alla sua posizione negli ambienti scientifici, ma il fattore principale è stato il fatto che gli esperimenti effettuati dalle tre potenze nucleari (Stati Uniti, Unione Sovietica, Gran Bretagna) dal 1956 in poi, avevano piú che raddoppiato la massa totale di *fallout*. La Commissione non insistette piú a discutere l'esposizione della popolazione alle radiazioni nei limiti di protezioni specificatamente intese per gli addetti agli impianti nucleari, ma cominciò a impiegare i limiti di esposizione suggeriti per la massa della popolazione. Dopo un anno di indugi, l'AEC accettò le raccomandazioni della Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica e abbassò anche il limite per i lavoratori del settore di un fattore di tre.

Sfortunatamente le controversie relative alle conseguenze degli esperimenti ha talvolta falsata la giusta prospettiva in cui tali esperimenti devono essere considerati. Il *fallout* dopotutto non è che una conseguenza dell'ingresso dell'umanità nell'era dell'energia nucleare. Dai processi del mondo submicroscopico del nucleo, l'uomo ha cominciato ad ac-

corgersi di disporre di una fonte di energia che può liberarlo per sempre dal dover disperatamente dipendere da combustibili fossili in costante diminuzione, e può aprire un'era in cui l'oceano stesso può costituire la sua riserva di energia. Tuttavia, se capricciosamente impiegata per la distruzione, questa stessa energia potrebbe moltiplicare la tragedia di Hiroshima e di Nagasaki dove due piccole bombe, cinquecento volte meno potenti di un'attuale bomba all'idrogeno, uccisero 100.000 persone e ne ferirono altre 325.000.

Siamo davanti ad una scelta: chi la deve fare? Nella nostra democrazia la decisione non può essere presa dagli scienziati, ma non deve neppure essere lasciata a comitati esecutivi o a capi militari. Per il nostro sistema politico ci si deve lasciare guidare dall'opinione pubblica. Ma l'opinione pubblica è per lo piú confusa e poco informata sul grosso problema dell'energia nucleare. È privilegio e dovere dello scienziato presentare al pubblico le conoscenze essenziali sulle quali fondare questa opinione. Infatti nel nostro mondo di conoscenze complesse e di progressi tecnologici, lo scienziato non ha un solo ma due fondamentali doveri — anzitutto, il tradizionale dovere di ricercare la verità, e poi, il dovere di comunicare a chiunque ne abbia bisogno il risultato delle sue ricerche.

Il problema del *fallout* illumina questi due aspetti della funzione della scienza. In molti campi scientifici gli scienziati hanno raccolto una vasta massa di nozioni sul *fallout*. Queste conoscenze sono state pubblicate in molte pubblicazioni tecniche e rias-

sunte in relazioni utili come il compendio in due volumi dei rendiconti fatti al Comitato Unico del Congresso per l'Energia Atomica pubblicato con il titolo *The Nature of Radioactive Fallout and Its Effects on Man* (La Natura del Fallout Radioattivo e Suoi Effetti sull'Uomo) e nel rapporto del Comitato Scientifico delle Nazioni Unite sugli Effetti delle Radiazioni Atomiche. Purtroppo queste relazioni e compendi sono stati scritti per gli specialisti, e il loro linguaggio e stile tecnico li rendono praticamente incomprensibili per i profani.

Questo libro tenta di presentare i fatti in una forma piú accessibile. Il materiale trattato è vario, poiché appartiene alla chimica, alla fisica, alla meteorologia, alla biologia, alla geologia e ad altre discipline. Ogni capitolo è stato scritto da un esperto del particolare campo. I primi otto capitoli descrivono le armi nucleari e i prodotti radioattivi dell'esplosione di esse, i caratteri della distribuzione del *fallout* sulla terra, le vie attraverso le quali passa dal suolo alle piante e dalle piante all'uomo, gli effetti immediati e a lunga scadenza sull'uomo e sulla sua costituzione genetica, e la possibilità di protezione da tali radiazioni. Gli altri capitoli si spingono in un campo piú controverso di quello strettamente scientifico: l'identificazione e il controllo degli esperimenti nucleari, e la preoccupazione fondamentale — le conseguenze di una guerra nucleare.

Scopo di questo libro è di informare, non di creare un'opinione. Gli autori sono stati scelti per la loro competenza specifica, non per le loro opinioni; il sottoscritto, anzi, non conosce nemmeno il

loro punto di vista sul problema della sospensione degli esperimenti con armi nucleari. Non è stato fatto alcun tentativo per conseguire un accordo tra i collaboratori, ma ognuno di essi risponde soltanto delle opinioni espresse nel rispettivo capitolo. Tuttavia il sottoscritto e i collaboratori son unanimemente convinti della necessità che l'opinione pubblica comprenda i problemi scientifici qui discussi, e sperano fermamente che le loro fatiche contribuiscano a tale comprensione.

Gould A. Andrews

INCIDENTI DA RADIAZIONI

Come Walter Guild ha già rilevato nel capitolo V, molte delle nostre informazioni relative agli effetti delle radiazioni sull'uomo provengono da attenti studi sulle vittime degli incidenti. Non si sono avuti molti di tali incidenti, ma essi sono cosí drammatici e spaventosi che hanno servito, oltre che come soggetti di romanzi, anche per studi scientifici. Questo capitolo si propone di esaminare brevemente questi incidenti.

La cosa piú sorprendente è il basso numero di incidenti gravi nei molteplici programmi della AEC. Gli impianti per l'energia atomica si sono dimostrati tra i piú sicuri fra tutti gli impianti industriali in attività. Questo notevole primato nella sicurezza è dovuto ad una accurata protezione basata sulla consapevolezza dei pericoli delle radiazioni. La maggior parte degli incidenti che hanno funestato lo svolgimento

dei programmi nucleari sono stati degli infortuni di tipo comune, che non implicavano le radiazioni. I rari incidenti da radiazioni hanno avuto però una grande pubblicità, il che non sorprende a causa della naturale tendenza a temere la sconosciuta ed insidiosa natura del pericolo radioattivo, e del vivo ricordo degli effetti delle bombe atomiche sganciate sul Giappone.

Gli incidenti piú gravi hanno implicato in ogni caso una singola dose intensa di radiazione somministrata esternamente all'intero corpo. Vi è una certa incertezza nello stabilire esattamente quando la dose è letale per un essere umano. Gli studi sugli animali di specie differenti hanno mostrato una variazione considerevole nella tolleranza. Per l'uomo la miglior valutazione numerica è che la " dose letale del 50 per cento " (LD — 50) — ossia la quantità capace di uccidere metà di coloro che sono stati da essa colpiti in un breve periodo di tempo — è tra i 300 e i 600 rad. A queste dosi i sintomi seguono un andamento caratteristico. Nel primo o nel secondo giorno, il paziente soffre e di una forte nausea e di vomito, e poi si verifica una diminuzione del numero dei linfociti (un tipo di globuli bianchi). Quando il vomito e la nausea diminuiscono, il paziente potrebbe sentirsi molto bene per circa tre settimane, ma nella terza settimana potrebbe cominciare a perdere i capelli. Poi subito dopo si verifica una rapida diminuzione di globuli bianchi e di piastrine (i corpuscoli che servono a far coagulare il sangue ed impediscono le emorragie), poiché la capacità del midollo osseo di riformarli viene a cessare in seguito alla lesione provocata dalle

radiazioni. Il paziente sviluppa infezioni o emorragie o ambedue. Questo è lo stato critico con la dose LD — 50. Se l'alterazione del midollo non è troppo grave, spesso è possibile salvare la vita del paziente con trasfusioni di sangue e di piastrine e curando le infezioni con gli antibiotici. Attualmente sembra che le iniezioni di cellule di midollo spinale prelevato da un donatore siano piú efficaci delle trasfusioni di sangue. Con dosi molto piú elevate delle LD — 50, compaiono altri sintomi e la vittima muore in pochi giorni. Purtroppo per questi casi nessun rimedio è stato ancora trovato.

I primi incidenti di Los Alamos

Durante l'anno 1945-46, avvennero due gravi incidenti nucleari nel Laboratorio Scientifico di Los Alamos nel Nuovo Messico. Entrambi furono causati dalla creazione momentanea ed imprevista di masse supercritiche di materiale fissile durante esperimenti effettuati nel laboratorio. Dieci persone simultaneamente furono esposte a fasci di neutroni e di raggi gamma prodotti da tali reazioni a catena incontrollate, ma solo due persone furono colpite da dosi letali. Uno dei tecnici fu colpito da circa 2.000 roentgen e morí dopo nove giorni, l'altro da 600 roentgen, e morí di " morte del midollo " dopo 26 giorni. Un aspetto degno di nota di queste esposizioni furono le gravi lesioni visibili sui tessuti delle mani, delle braccia, e della parte anteriore del corpo (per esem-

pio, ingrossamento dei polpastrelli delle dita - vedi Tavola V). Le altre otto persone esposte nei due incidenti si salvarono, ma uno fu colpito da cataratta ad entrambi gli occhi dopo tre anni. Tutti i pazienti furono studiati esaurientemente da L. H. Hempelmann e dai suoi numerosi collaboratori. La loro relazione, pubblicata in *The Annals of Internal Medicine* del febbraio 1952, è uno studio classico sugli effetti della radiazione sull'uomo.

L'incidente del fallout del 1954

I capitoli precedenti di questo libro hanno già citato l'incidente seguito all'esplosione sperimentale di una bomba nel 1954; a causa dell'imprevisto cambiamento della direzione del vento, grandi concentrazioni di *fallout* caddero sugli abitanti delle isole Marshall, su alcune navi che partecipavano all'esperimento, e sul *Lucky Dragon*. La AEC, in collaborazione con la Marina Militare degli Stati Uniti, eseguí uno studio clinico e di laboratorio molto accurato sugli abitanti delle Marshall, ed E. P. Cronkite ed un grande gruppo di collaboratori presentarono le loro conclusioni in un documento intitolato *Alcuni Effetti delle Radiazioni Ionizzanti sugli Esseri Umani,* il documento venne pubblicato dalla AEC.

I pazienti ricevettero dosi di raggi gamma fino ai 175 roentgen su tutto il corpo, ed ingerirono cibo contaminato. Tuttavia sopravvissero tutti, senza riportare un danno apparente e duraturo (vedi Tavola VI).

In alcuni di essi parti del corpo si pigmentarono in corrispondenza delle ulcerazioni dell'epidermide.

I pescatori del *Lucky Dragon* mostrarono effetti di irradiazione su tutto il corpo e alterazioni della pelle prodotte dalle particelle radioattive depositate su di essa. Dopo 30 o 45 giorni dalla esposizione, essi manifestarono sintomi di debolezza, emorragie ed infezioni. Un uomo morí circa sei mesi dopo l'esplosione, per un disturbo al fegato che, apparentemente, non era dovuto al danno della radiazione in modo diretto, ma tramite una infezione trasmessa insieme alle trasfusioni di sangue cui fu sottoposto.

L'incidente di Windscale

Il 10 ottobre 1957, un reattore britannico denominato *Windscale No. 1 Pile* (pila numero 1 di Windscale) sviluppò alcune fughe per un surriscaldamento accidentale. I filtri della ciminiera (attraverso cui veniva scaricata nell'atmosfera l'aria che raffreddava il reattore), impedirono la fuga della maggior parte delle particelle di prodotti di fissione liberati nell'incidente, tuttavia talune sostanze radioattive, soprattutto iodio radioattivo, si dispersero nella campagna. La preoccupazione principale derivava dalla possibilità che le mucche, mangiando l'erba, producessero latte contenente iodio radioattivo. Era stato suggerito di considerare, come limite tollerabile di iodio 131 nel latte, circa 0,4 microcurie per litro. Due giorni dopo l'incidente in alcuni campioni di latte prove-

nienti dall'area circostante il reattore venne trovato il doppio di tale limite, 0,8 microcurie per litro. Le autorità ordinarono la sospensione della vendita del latte nel raggio di tre chilometri dal reattore. Ulteriori analisi mostrarono che una regione ancora piú ampia era nociva per la produzione del latte e vennero quindi estese le restrizioni sulla vendita. Queste temporanee misure preventive consentirono un controllo adeguato del pericolo rappresentato dallo iodio radioattivo. La piú ingente quantità di iodio trovata nella tiroide di una persona dimorante nelle vicinanze fu di 0,28 microcurie, misurati in un bambino. Tale dose non venne considerata pericolosa perché si riteneva che una dose " permanente " di 0,1 microcurie nella tiroide fosse innocua. Fortunatamente nessuno ebbe conseguenze nocive dall'incidente di Windscale, sebbene ci sia stato un grande allarme tra la popolazione.

Quelli che vennero a trovarsi piú vicini a soffrire però i gravi effetti causati dalle radiazioni, furono i bambini che bevvero quantitativi notevoli di latte prodotto nella zona prima che ci si rendesse conto dell'estensione del pericolo. L'incidente mostrò che il controllo del latte è una delle prime misure di sicurezza che devono essere prese quando vi è la possibilità di una pioggia di prodotti di fissione trasportati dall'aria. L'episodio fornì anche utili informazioni sull'esercizio dei reattori. I piú recenti tipi di centrali nucleari sono costruiti con minore quantità di grafite naturale, in cui si sviluppò l'incendio nel reattore di Windscale, e quindi è meno probabile che l'incidente abbia a ripetersi nel futuro.

L'incidente di Oak Ridge

Il 16 giugno 1958, si verificò una accidentale reazione a catena di uranio, nel laboratorio chimico di Oak Ridge, denominato Y - 12 e originariamente costruito per separare l'uranio 235 con il metodo elettromagnetico. Una grande quantità di uranio arricchito in U 235 fu inavvertitamente fatta fluire in un recipiente destinato a contenere solo acqua. Il tecnico piú vicino al recipiente notò dei fumi giallognoli, provocati da sostanze chimiche associate all'uranio, che uscivano dal recipiente. In pochi secondi apparve un lampo bluastro. Cinque uomini si trovavano nelle vicinanze del recipiente; essi fuggirono allorché risuonò la sirena d'allarme. Si stabilí subito che era avvenuta una formazione accidentale di massa critica. Le dosi che avevano colpito gli addetti poterono essere misurate con notevole precisione. Si determinò che i 5 infortunati avevano ricevuto da 236 a 365 rad, sia in base alla ripetizione degli aspetti salienti dell'incidente in un esperimento che ne simulava le condizioni effettive, sia misurando il sodio radioattivo presente nel sangue delle vittime, come l'indicazione della loro esposizione ai neutroni, sia calcolando le dosi di raggi gamma con altri procedimenti. Altri tre uomini che si trovavano nella stanza, ricevettero da 25 a 100 rad.

I 5 uomini piú gravemente colpiti ebbero la nausea entro 2 ore dall'incidente, e si manifestarono le caratteristiche alterazioni del sangue dovute alle forti radiazioni. Dopo la nausea ed il vomito, che durarono per due o tre giorni, gli uomini si sentirono perfetta-

mente ristabiliti. Il 17° giorno cominciarono a perdere i capelli. Tra il 25° e il 30° giorno ebbero dei blandi sintomi di emorragia, uniti ad una diminuzione pronunciata delle piastrine del sangue. Soffrirono anche di accidentali infezioni che furono facilmente curate con antibiotici. Nella 4.a e 5.a settimana dopo l'esposizione, la produzione di cellule da parte del midollo spinale diminuí bruscamente ma poi riprese spontaneamente. Gli uomini furono soggetti a debolezza muscolare per parecchi mesi dopo l'incidente, ma riguadagnarono definitivamente il normale stato di salute.

L'incidente jugoslavo

Un incidente molto grave da radiazioni occorse il 15 ottobre 1958 negli impianti per l'energia atomica vicino a Belgrado; il dr. G. Mathé, H. Jammet ed altri pubblicarono degli studi su questo incidente nel numero di aprile 1959 della *Revue Française d'Etudes Cliniques et Biologiques*. Una reazione di criticità venne innescata casualmente in un reattore ad acqua pesante e durò per parecchi minuti. Sei scienziati presenti nelle vicinanze del reattore, non si resero conto del pericolo. Gli strumenti che dovevano servire a segnalare i livelli di alta radiazione non erano stati messi in funzione. Alla fine l'incidente venne segnalato e si comprese che sei persone erano state colpite da radiazioni gamma e da neutroni. Tuttavia non fu possibile misurare con cura le dosi, in parte poiché

gli uomini camminavano nel locale a varie distanze dal reattore quando venne innescata la reazione. Una ricostruzione delle condizioni dell'incidente è stata realizzata per mezzo di manichini e si spera di ricavarne stime piú accurate delle dosi che colpirono gli uomini.

Le vittime ebbero subito nausea, vomito e debolezza. Il giorno dopo l'incidente vennero trasportate in aereo alla Fondazione Curie a Parigi per le cure del caso. (Il loro arrivo dette adito a false voci secondo le quali essi sarebbero stati pericolosamente radioattivi e avrebbero contaminato l'aeroporto di Parigi). Il paziente che ricevette la dose piú alta di radiazione, si ammalò in forma acuta circa tre settimane dopo la esplosione, con un quadro clinico generale alquanto complesso. Presentò sintomi di disordini addominali, una insufficienza renale e la solita grave diminuzione dell'attività del midollo spinale. Gli furono somministrate per iniezione cellule generatrici di sangue ricavato da un embrione umano, ma senza risultato. Piú tardi ricevette cellule di midollo da un donatore adulto. Ci furono sintomi denuncianti che le cellule trasfuse cominciavano a svilupparsi con successo, ma malgrado questo il paziente morí, un mese dopo l'incidente.

L'esperimento di trapianto del midollo sembrò piú efficace nei quattro pazienti che ricevettero le altre dosi piú elevate. Quando il livello degli elementi sanguigni deficienti fu di nuovo normale, studi speciali mostrarono che stavano riproducendosi globuli rossi del tipo del donatore. Dopo qualche settimana il midollo del paziente divenne di nuovo la principale sor-

gente di globuli rossi e il midollo trapiantato parve diminuire l'attività. Questa fu presumibilmente una circostanza fortunata, poiché il tessuto estraneo tenderebbe a produrre una indesiderabile immunità di reazioni. (Vedi capitolo VIII).

I quattro pazienti che ricevettero il midollo spinale si ripresero bene dalla lesione della radiazione. Anche il sesto paziente, che non ebbe bisogno di un innesto di midollo spinale, si ristabilí perfettamente.

Vi sono pareri discordi intorno agli effetti del trapianto di midollo spinale negli jugoslavi infortunati. Siccome il valore delle dosi della radiazione non era stato precisato, si arguí che i pazienti sarebbero sopravvissuti anche senza il trattamento con midollo. Chi scrive crede che il quadro clinico e di laboratorio indicava una elevata dose di radiazioni e che vi sono segni evidenti del benefico effetto del midollo. Sembra quindi lecito concludere che questa tecnica costituisca un importante progresso nella terapia delle lesioni da radiazione.

La dose piú elevata

Un incidente di criticità avvenne a Los Alamos il 30 dicembre 1958. Ebbe luogo durante il ricupero del plutonio prodotto in un reattore. Di solito questo prodotto fissile viene manipolato soltanto in piccole quantità, cosicché si evita il pericolo che possa raggiungere la massa critica. Ma quella volta furono messe insieme, per errore, in un grande ser-

batoio tre cariche di diverse fasi di purificazione. Quando fu messo in azione un miscelatore elettrico, il plutonio raggiunse la sua configurazione critica. Improvvisamente ci fu un lampo bluastro e " una detonazione soffocata ". L'operatore che aveva azionato il dispositivo elettrico e stava guardando nell'interno del serbatoio, fu scaraventato a terra dalla scaletta sulla quale si trovava. Immediatamente fuggí fuori dell'edificio e gridò che si sentiva bruciare. La sua pelle si arrossava rapidamente. Dopo pochi minuti il poveretto cominciò a vomitare ed ebbe forti scariche di diarrea acquosa. Fu condotto all'ospedale in stato di trauma. Un vigoroso trattamento di iniezioni endovenose non riuscí a mantenere normale la pressione del sangue ed egli morí 36 ore dopo l'esposizione. L'analisi del sangue, poche ore dopo l'incidente, dimostrò un aumento molto forte di globuli bianchi e un'assenza totale di linfociti.

Gli studi fatti in sede di autopsia fecero rilevare notevoli alterazioni ai muscoli del cuore. Il torace, che era stato vicino al lato del recipiente dove era avvenuta la fissione, aveva ricevuto la dose maggiore.

Questo paziente fu colpito probabilmente dalla piú alta dose di irradiazione su tutto il corpo che sia mai stata studiata nell'uomo. La sua morte presenta alcuni aspetti della morte " gastrointestinale ". Il danno cui fu soggetto il cuore non era mai stato osservato in alcuna altra vittima delle radiazioni.

Un altro tecnico, che si trovava a una decina di metri dal luogo dell'esplosione, subí una esposizione molto elevata quando entrò nella stanza per aiutare

il collega. Tuttavia la sua dose non fu abbastanza forte per produrre disturbi clinici evidenti, dovuti alla radiazione.

Questo incidente, come quello avvenuto a Oak Ridge nell'impianto Y - 12, accadde in un luogo dove il materiale fissile era trattato chimicamente e dove si riteneva vi fosse scarso pericolo che si verificasse un incidente di criticità. Successivamente furono eseguite ricerche che portarono ad una chiara comprensione degli eventi che avevano provocato la concentrazione eccessiva del materiale fissile. Esistono oggi mezzi sicuri per impedire il ripetersi di questi incidenti.

Tutti gli incidenti nucleari descritti in questo capitolo sono facilmente spiegabili in base a noti princípi fisici, e ciascuno fu dovuto alla mancanza di sufficienti precauzioni o di considerazione di possibili benché insolite circostanze concomitanti. Date le misure precauzionali piú perfette, che furono adottate in seguito, è improbabile che si ripetano alcuni degli incidenti descritti. Tuttavia, coll'aumentare del numero di reattori che saranno in funzione nei prossimi anni, e col diffondersi dell'impiego degli isotopi radioattivi, si verificheranno senza dubbio piú incidenti di un tipo o dell'altro ([1]). Nella migliore delle ipotesi, il mondo avrà bisogno di una conoscen-

---

([1]) Il 3 gennaio 1961 un ulteriore incidente si è verificato nel Centro di Prova Reattori di Idaho Falls (U.S.A.), dove un'improvvisa esplosione nel Low Power Reactor — uno dei reattori ivi esistenti — ha provocato la morte di tre persone [N. d. T.].

za sempre piú vasta sul modo di curare le vittime della radiazione, e medici ed infermiere dovranno essere opportunamente addestrati in questo campo.

Con adatte precauzioni, l'umanità non dovrà piú temere la radiazione. E ricordiamo che, in confronto di altre nuove conquiste tecnologiche, la scienza nucleare — almeno nelle sue applicazioni pacifiche — dà una notevole garanzia di incolumità.

APPENDICE C

LISTA DELLE ESPLOSIONI NUCLEARI

Fino al 1960 sono state comunicate 206 esplosioni di bombe nucleari: 129 effettuate dagli Stati Uniti, 53 dall'URSS, 21 dalla Gran Bretagna e 3 dalla Francia. Le località e il numero delle esplosioni nell'URSS non sono conosciute con esattezza; gli esperimenti nucleari elencati sono quelli comunicati dal governo sovietico o indicati dai sistemi di segnalazione degli Stati Uniti. L'elenco completo delle esplosioni note compiute dalle quattro nazioni è il seguente (il numero tra parentesi indica il numero degli esperimenti):

USA

16 luglio 1945 - Prima bomba atomica, « Trinity », Alamogordo (New Mexico).
6 agosto 1945 - Bomba di Hiroshima.
9 agosto 1945 - Bomba di Nagasaki.
Estate 1946 - Esperimenti « Crossroads » (2), Atollo di Bikini.
Primavera 1948 - Esperimenti « Sandstone » (3), poligoni di Eniwetok.
Inverno 1951 - Esperimenti « Ranger » (5), poligono del Nevada.

Primavera 1951 - Esperimenti « Greenhouse » (4), Eniwetok.
Autunno 1951 - Esperimenti « Buster Jangle » (7), Nevada.
Primavera 1952 - Esperimenti « Tumbler-Snapper » (8), Nevada.
Autunno 1952 - Esperimenti « Ivy » (2), Eniwetok.
Primavera 1953 - Esperimenti « Upshot-Knothole » (11), Nevada.
Primavera 1954 - Esperimenti « Castle » (6), Eniwetok.
Primavera 1955 - Esperimenti « Teapot » (14), Nevada.
Primavera 1955 - Esperimenti « Wigwam » (1), Pacifico.
Prim.-Estate 1956 - Esperimenti « Redwing » (4), Eniwetok.
Prim.-Estate 1957 - Esperimenti « Plumb-Bob » (24), Nevada.
Prim.-Estate 1958 - Esperimenti « Hardtack » 1ª fase (16), Eniwetok.
Autunno 1958 - Esperimenti « Hadtack » II fase (19), Nevada.

URSS

23 settembre 1949 - 1ª esplosione nucleare sovietica.
Ottobre 1951 - 2 esplosioni comunicate.
Agosto 1953 - Serie di esperimenti, 2 esplosioni comunicate, una termonucleare.
26 ottobre 1954 - « Parte di una serie ».
4 agosto 1955 - 1 esplosione.
24 settembre 1955 - « Parte di una serie ».
Novembre 1955 - « Parte di una serie », 2 esplosioni, 1 « dell'ordine del megaton ».
Marzo-Aprile 1956 - « Parte di una serie », 2 esplosioni.
Agosto-Settembre 1956 - « Parte di una serie », 4 esplosioni.
17 novembre 1956 - 1 esplosione.
19 gennaio 1957 - « Parte di una serie ».
Marzo-Aprile 1957 - « Parte di una serie », 6 esplosioni.
Agosto-Ottobre 1957 - « Parte di una serie », 5 esplosioni.
28 dicembre 1957 - 1 esplosione.
Febbraio-Marzo 1958 - 9 esplosioni.
Settembre-Novembre 1958 - 16 esplosioni.

GRAN BRETAGNA

3 ottobre 1952 - 1ª esplosione britannica, Isole Monte Bello.
Ottobre 1953 - 2 esplosioni, Woomera.
Maggio-Giugno 1956 - 2 esplosioni, Isole Monte Bello.
Settembre-Ottobre 1956 - 4 esplosioni, Marelinga.
Maggio-Giugno 1957 - 3 esplosioni, Isola Christmas.
Settembre-Ottobre 1957 - 3 esplosioni, Marelinga.
8 novembre 1957 - 1 esplosione, Isola Christmas.
28 aprile 1958 - 1 esplosione, Isola Christmas.
Agosto-Settembre 1958 - 4 esplosioni.

FRANCIA

13 febbraio 1960 - 1 esplosione, Reggiane (Sahara).
1 aprile 1960 - 1 esplosione, Reggiane (Sahara).
27 dicembre 1960 - 1 esplosione, Reggiane (Sahara).

Nelle 203 esplosioni (1) l'energia totale prodotta dalla fissione (senza includere l'energia di fusione) fu calcolata in 91.460.000 tonnellate. Questa stima è basata sull'ipotesi che gli esperimenti termo-nucleari sovietici fossero costituiti in media dal 50 per cento di fissione e dal 50 per cento di fusione, come gli esperimenti compiuti dagli Stati Uniti e dalla Gran Bretagna. Considerando insieme le esplosioni di fissione delle tre nazioni (1), il numero di esplosioni in aria, al suolo e alla superficie del mare sono date dalla tabella seguente:

Energia liberata dalla fissione in kiloton

Anni	Esplosioni in aria	Esplosioni sulla superficie terrestre	Esplosioni sulla superficie del mare
1945-51	190	550	20
1952-54	1.000	15.000	22.000
1955-56	5.600	1.500	6.000
1957-58	31.000	4.400	4.600

(1) Escluse le 3 francesi [N. d. T.].

INDICE

Presentazione italiana . . . . . Pag. 7

Nota del curatore . . . . . » 11

Prefazione . . . . . » 13

John M. Fowler - Il problema del *fallout* . . . » 17

John M. Fowler - Le bombe e i loro prodotti . » 29

Lester Machta e Robert J. List - Schema globale della caduta radioattiva . . . . . » 51

W. O. Caster - Dalla bomba all'uomo . . . . » 65

John M. Fowler - Il crescente livello del *fallout* » 85

Walter R. Guild - Effetti biologici delle radiazioni » 107

J. F. Crow - Le radiazioni e le generazioni future » 143

Gould A. Andrews - Incidenti da radiazioni . . » 163

Jack Schubert - Protezione e terapia . . . . . » 177

Arthur H. Rosenfeld - Rilevamento delle esplosioni sperimentali . . . . . » 191

Ralph E. Lapp - La guerra nucleare . . . . » 221

John M. Fowler - La sopravvivenza della nazione » 249

Appendice A - I princípi fondamentali della radiazione . . . . . » 273

Appendice B - Fissione e fusione . . . . . » 287

Appendice C - Lista delle esplosioni nucleari . » 297

Appendice D - Perdite in un attacco aereo . . » 301

Glossario . . . . . » 305

FINITO DI STAMPARE
IL 3 APRILE 1961
CON I TIPI DELLA S.A.M.E.
MILANO - PIAZZA CAVOUR, 2

90 L. Jànossy . . . . . Raggi cosmici e fisica nucleare - *pagg. 280, L. 900.*

91 Rolf Strehl . . . . . I robot sono tra noi - *pagg 384, L. 1.200.*

92 George G. Simpson . . Il significato dell'evoluzione - *pagg. 464, L. 1.000.*

*93 Desiderius Papp . . . I due volti del mondo fisico.

94 Franck W. Lane . . . Meraviglie del mondo animale - *32 tavole f.t., pagg. 320, L. 1.000.*

95 Willy Ley . . . . . I giorni della creazione - *pagg. 320, L. 800.*

96 Hector Hawton . . . Filosofia per diletto - *pagg. 296, L. 700.*

97 Julian Huxley . . . . Le formiche e le meraviglie degli uccelli - *22 illustrazioni, 8 tavole f.t., pagg. 204, L. 600.*

98 William Beebe . . . . L'avventura della « Zaca » - *24 tavole f.t., pagg. 280, L. 900.*

99 Heinz Gartmann . . . L'avventura astronautica - *28 tavole f.t., pagg. 320, L. 1.200.*

100 John A. Schindler . . . Come vivere i 365 giorni dell'anno *pagg. 264, L. 800.*

101 A. L. Bacharach . . . Scienza e alimentazione - *pagg. 220, L. 700.*

102 R. Carrington . . . . Guida alla storia della terra - *pagg. 344, L. 1.200.*

103 Brian Curtis . . . . La vita dei pesci - *pagg. 332, L. 1.200.*

104 Fred Hoyle . . . . . Le frontiere dell'astronomia - *pagg. 480, L. 1.800.*

105 Karen Horney . . . . Nuove vie della psicanalisi - *pagg. 328, L. 1.000.*

106 Walter B. Cannon . . . La ricerca scientifica - *pagg. 320, L. 900.*

107 F. J. Hargreaves . . . La misura dell'Universo - *16 tavole f.t., pagg. 228, L. 1.200.*

108 F. M. Burnet . . . . I virus e l'uomo - *pagg. 268, L. 1.000.*

109 La Monte-Welch . . . Vita che scompare - *pagg. 320, L. 1.200.*

110 Carl Gustav Jung . . . Su cose che si vedono nel cielo - *8 tavole f.t., pagg.* 200, *L. 1.000.*

I volumi contrassegnati con l'asterisco per ora non sono disponibili.

Fallout è l'espressione che si usa ormai comunemente per indicare quelle sostanze radioattive, diffuse da un'esplosione nucleare, che, dopo essere state disperse per un certo tempo nell'atmosfera e trasportate dai venti, precipitano sulla terra e vengono riassorbite dalle piante, incorporate nei tessuti vegetali, trasmesse, attraverso il bestiame che se ne alimenta, all'uomo. Anche se la radioattività dell'ambiente non si eleva in modo da produrre danni chiaramente visibili, le radiazioni colpiscono l'uomo nei suoi nuclei cellulari, con effetti cancerosi, oppure lo colgono nelle cellule germinative: allora l'effetto si manifesta, a distanza di decenni, nei figli nati dalle persone colpite. La morte nucleare che « cade dall'alto » mina dunque l'uomo nei centri segreti del suo corpo e agisce lentamente e inesorabilmente sul futuro della razza.

Il problema è cosí urgente, tragico, terrificante come molti studiosi prospettano? L'umanità sta avviandosi alla autodistruzione, come avvertono i moralisti preoccupati? Oppure questo pericolo è teorico ed ha conseguenze limitate e limitabili?

In questo libro un gruppo di scienziati americani, molti dei quali impegnati in ricerche nucleari per conto del proprio governo, espongono le loro conclusioni. E' l'esperienza di uomini di scienza preoccupati circa il destino dell'umanità: espongono *sine ira et studio* ciò che potrebbe accadere, ciò che è già accaduto. Ci avvertono dei casi in cui il pericolo si annida a pochi passi da noi, nel cibo che stiamo per ingerire o nell'aria che respiriamo. Espongono dati scientifici e quindi evitano accenni apocalittici; non sono degli allarmisti, ma il loro libro è un grido d'allarme per l'uomo cosciente e responsabile del proprio avvenire.

Sono nati da tempo in tutti i paesi civili comitati per il disarmo nucleare, ed anche in Italia è sorta una organizzazione analoga che raccoglie personalità della cultura di ogni tendenza. Sotto gli auspici del Comitato Italiano per il Disarmo Atomico viene pubblicata quest'opera di scienza, di divulgazione e di umana meditazione.